

VŠB – TU Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra mechanické technologie

**Vliv povrchové úpravy nástrojů pro tlakové lití slitin
hliníku**

**Effect of Surface Treatment Instruments for Pressure
Casting of Aluminum Alloys**

Student:

Michal Pořízka

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. René Siostrzonek, Ph.D.

Ostrava 2017

Zadání bakalářské práce

Student:

Michal Pořízka

Studijní program:

B2341 Strojírenství

Studijní obor:

2303R002 Strojírenská technologie

Téma:

Vliv povrchové úpravy nástrojů na tlakové lití slitin hliníku
Effect of Surface Treatment Instruments for Pressure Casting of
Aluminum Alloys

Jazyk vypracování:

čeština

Zásady pro vypracování:

1. Prostudujte problematiku PVD povlaků.
2. Prostudujte problematiku přípravy povrchu před nanesením PVD povlaků.
3. Prostudujte využití PVD povlaků pro nástroje na tlakové lití slitin hliníku.
4. Navrhněte metodiku experimentálních prací.
5. Zpracujte technickou zprávu.

Seznam doporučené odborné literatury:

PODJUKLOVÁ, Jitka. Speciální technologie povrchových úprav I. Dot. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 1997. ISBN 80-7078-235-8.
MOHYLA, Miroslav. *Technologie povrchových úprav kovů*. 2. vyd. Ostrava: VŠB-Technická univerzita, 2000. ISBN 80-7078-953-0.
HUMÁR, Anton. *Slituté karbidy a řezná keramika pro obrábění*. Brno: CCB, 1995. ISBN 80-85825-10-4.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. René Siostrzonek, Ph.D.**

Konzultant bakalářské práce: Ondřej Zindulka

Datum zadání: 09.12.2016

Datum odevzdání: 15.05.2017

Ing. Lucie Krejčí, Ph.D.
vedoucí katedry



doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě15.5.2017.....

.....Párisle Michal.....

podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě: 15.5.2017



podpis

Jméno a příjmení autora práce:

Michal Pořízka

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Rapotín Náměstí Svobody 127

Anotace Bakalářské práce

POŘÍZKA, M. *Vliv povrchové úpravy nástrojů na tlakové lití slitin hliníku: bakalářská práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra mechanické technologie, 2017, 39 s. Vedoucí práce: Ing. Siostrzonek, R.

Bakalářská práce se zabývá studiem PVD povlaků, technologií povrchových úprav před nanesením povlaků a odléváním hliníku. V experimentální práci bylo zvoleno 15 ocelových vzorků. Na těchto vzorcích byla provedena podpovrchová úprava odmaštěním a část z nich byla otryskána. Změna ve struktuře povrchů vzorků byla pozorována pomocí elektronového rastrovacího mikroskopu a pomocí konfokálního mikroskopu byla zjištěna drsnost jednotlivých vzorků. Na vzorky byli nanесeny dva typy PVD povlaků a to Marwin G a Vanadin. Na vzorky byl odlit hliník. Pro vyhodnocení nejvhodnějšího povrchu pro odlévání hliníku byla provedena zkouška přilnavosti. Výsledky experimentu byly prodiskutovány.

Anotation of Bachelor Thesis

POŘÍZKA, M. *Effect of Surface Treatment Instruments for Pressure Casting of Aluminum Alloys: Bachelor Thesis*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of mechanical engineering, Department of Mechanical Technology, 2017, 39 p. Thesis head: Ing. Siostrzonek, R.

Bachelor thesis is dealing with studies of PVD coating, technology of surface treatment before PVD coating is applied and with pressure casting of aluminum alloys. For purposes of experimental part of this bachelor thesis were chosen fifteen steel samples. These samples were degreased and part of them were dry and wet blasted. Difference in surface structure was observed via electronic scanning microscope and thanks to confocal microscope we measured roughness of samples. PVD coatings such as Marwin G and Vanadin were applied on surface treated samples. After that aluminum was casted on samples. To discover which PVD coating is the most usefull for aluminum casting the adhesion test was done. Discusion of results was performed.

Obsah

1 Úvod	7
2 Předúprava povrchu materiálu	8
2.1 Odmašťování	8
2.1.1 Odmašťování v alkalických roztocích	9
2.1.2 Odmašťování v organických rozpouštědlech	9
2.2 Otryskávání	10
3 PVD Povlakování	11
3.1 Vakuové napařování	12
3.2 Vakuové naprašování	13
3.3 Iontové plátování	14
4 Využití PVD povlaků	15
5 Tlakové odlévání	17
5.1 Hliník	18
6 Cíle bakalářské práce	18
7 Metodika experimentálních prací	18
8 Popis a výsledky experimentálních prací	19
8.1 Příprava	19
8.2 Povrchová úprava vzorků	20
8.2.1 Mokrý pískování	20
8.2.2 Suché pískování	22
8.3 Měření povrchu vzorků	23
8.3.1 Pozorování povrchu	24
8.3.2 Měření drsnosti povrchu	30
8.4 Odlévání hliníku na vzorky	32
8.5 Zkouška přilnavosti	35
9 Závěr	38
10 Seznam použitých zdrojů	39
11 Seznam příloh	40

1 Úvod

Cílem bakalářské práce je studium povrchových úprav materiálů pro tlakové lití hliníku. Přiblížení technologie PVD povlaků a provedení experimentální práce v této oblasti.

Tlakové lití bylo vynalezeno již v 18. století. Pro strojírenské účely se začalo používat až začátkem 20. Století. Tlakového lití je využíváno hlavně při vytváření tvarově velmi složitých součástí, které se nedají vyrobít například tvářením nebo svařováním.

Jedná se o proces, při kterém se roztavený kov, v tomto případě hliník vlévá pod vysokým tlakem do formy, aby se kov co nejlépe rozprostřel po celém objemu formy. Po vychladnutí a odstranění formy pak získáme požadovaný odlitek. V tomto procesu se ovšem dá stále mnoho zlepšovat. Jedním z těchto zlepšení procesu odlévání je například zamezení přilnutí formy k odlitku. Proto se tato bakalářská práce snaží zaměřit na tuto problematiku a přiblížit několik metod, které by měly tomuto jevu zabránit nebo jej alespoň omezit na přijatelnou hodnotu. V této bakalářské práci se snažíme zjistit jaký PVD povlak je nejvhodnější pro tlakové odlévání hliníku, proto také porovnáváme rozdíly různých povrchových úprav, které by mohli mít na odlévání rozdílný vliv a zamezit přilepení hliníku na odlévací formu. Z toho důvodu bylo různě povrchově opracováno patnáct zkušebních vzorků, na které pak byly nanесeny dva druhy PVD povlaků. Byla zjištěna změna drsnosti na všech vzorcích a také byly pomocí rastrového elektronového mikroskopu zobrazeny změny, které způsobily povrchové úpravy na jednotlivý vzorek. Výslednou vhodnost pro odlévání hliníku jsme zjistily pomocí zkoušky přilnavosti, která byla provedena pomocí odtrhovací (tahové) zkoušky na zkušebních vzorcích a na nich odlitém hliníku. Na závěr byly výsledné výsledky porovnány, zhodnoceny a byl zvolen PVD povlak, který je podle této bakalářské práce nejvhodnější pro tlakové odlévání hliníku.

2 Předúprava povrchu materiálu

Jako podpovrchové úpravy materiálu zařazujeme technologie, které z povrchu materiálu odstraňují nečistoty, abychom zajistili požadovanou čistotu povrchu, nebo k dosažení potřebných vlastností povrchu. Nečistoty se většinou skládají z mastnot, oxidů, ale patří sem také různé usazeniny jako zbytky starého nátěru, rez, nebo prach. Předúprava povrchu má velký význam na přilnavost povlaků k povrchu. [1,2]

Dělí se na:

- **Chemické úpravy:**

- odmašťování
- moření
- fosfátování

- **Mechanické úpravy:**

- otryskávání
- omílání
- oklepávání
- broušení
- kartáčování

2.1 Odmašťování

Odmašťování se využívá k odstranění všech druhů ulpělých nečistot z povrchu materiálu. Tyto nečistoty mohou být k povrchu vázány buď fyzikální adsorpcí (tuky), nebo adhezními silami (prach, kovové třísky apod.). [1,2]

Úkolem odmašťovacích přípravků je uvolnění usazených nečistot na povrchu materiálu, jejich převedení do roztoku nebo emulze a zabránění jejich opětovnému vyloučení na povrchu materiálu. [1,2]

Odmašťování dělíme podle použitého prostředku na odmašťování:

- v alkalických roztocích
- v organických rozpouštědlech
- elektrolytické odmašťování
- v neutrálních roztocích
- emulzní odmašťování
- opalování
- ultrazvukem

2.1.1 Odmašťování v alkalických roztocích

Je to nejrozšířenější způsob čištění kovových povrchů. Jeho účinnost spočívá v tom, že většinu mastnot zmýdelní a zabrání jejich navrácení na povrch materiálu. [1,2]

Alkalické odmašťovací prostředky mohou obsahovat:

- louhy
- sodu
- fosforečnany
- uhličitany
- křemičitany
- jiné povrchově aktivní látky a emulgátory

Alkalické prostředky se mohou aplikovat ponorem, postřikem, nebo ultrazvukem při teplotě 60 - 90°, při koncentraci 1 až 10 %. Během procesu se musí pravidelně odstraňovat nečistoty, které plovou na hladině lázně. [1,2]

2.1.2 Odmašťování v organických rozpouštědlech

Při tomto čištění se látky na povrchu kovu nebo i plastických hmot rozpustí a zároveň se uvolní i ostatní ulpělé nečistoty (kovové třísky, prach). Aplikuje se ponorem, postřikem, nebo ultrazvukem. [1,2]

Díky organickým rozpouštědlům se mohou odstraňovat i silné vrstvy mastných nečistot, ale bohužel tyto rozpouštědla nevyhovují požadavkům pro bezpečné a zdravotně nezávadné práce. [1,2]

Nejvíce používaná rozpouštědla:

- petrolej
- benzin
- benzen

2.2 Otryskávání

Otryskávání patří mezi mechanické předpovrchové úpravy. Tuto technologii můžeme uplatnit nejen jako předúpravu povrchu před nanášením ochranných povlaků proti korozi, ale také jako konečnou úpravu. Díky této technologii je možné technicky dokonalé očištění povrchu materiálu od okují, rzí i jiných nečistot, ale lze dosáhnout i vhodné mikrogeometrie a fyzikálních, či fyzikálně-mechanických vlastností povrchu. [1,2]

Výkon otryskávání se reguluje:

- velikostí zrn
- druhem otryskávaného materiálu
- úhlem a vzdáleností tryskání
- velikostí trysky
- tlakem

Otryskávání se dělí podle tvaru zrna:

- kulaté (ocelový granulát)
- ostrohranné (sekaný drát, korundová drť, drcené slupky ořechů)

3 PVD Povlakování

Jedná se o nanášení povlaků ve vakuu, neboli PVD (physical vapor deposition). Základní princip této metody spočívá v tom, že se převede pevný kov (např. titan) do plynného stavu a následně je zkondenzován na povlakovaném materiálu. Nanesené vrstvy pak mají vysokou tvrdost a vynikající odolnost proti opotřebení. Metody PVD rozlišujeme podle způsobů převedení pevných kovů do plynného stavu na: [1,3]

Vakuové napařování (evaporation), kde se materiál odpařuje přes:

- Klasický elektrický oblouk
- Nízkonapětový elektrický oblouk
- Elektronový svazek
- Laser

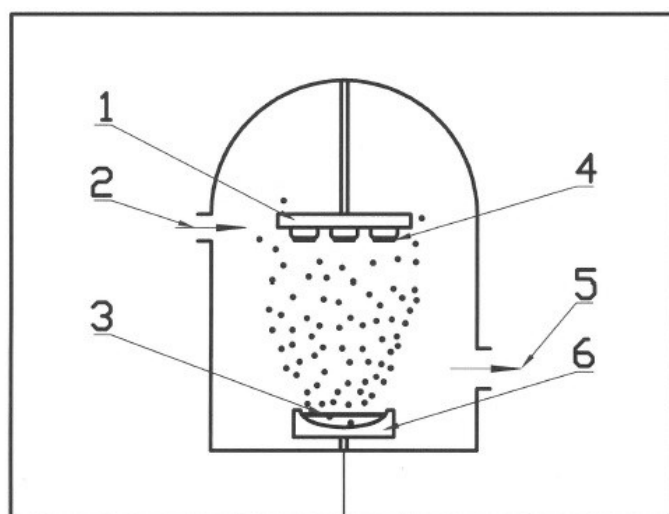
Vakuové naprašování (sputtering) je rozděleno na:

- Katodové
- Magnetronové

Iontové plátování (ion plating)

Jednou z největších výhod PVD povlakování je, že se povlaky tvoří při teplotách 500 – 550°C. Díky těmto teplotám je možné nanášet povlak na mnoho povrchů jako např. ocel, neželezné kovy a sklo bez toho aniž by byly ovlivněny jejich mechanické vlastnosti. Maximální tloušťka povlaku je většinou 5 µm. [1,3]

3.1 Vakuové napařování

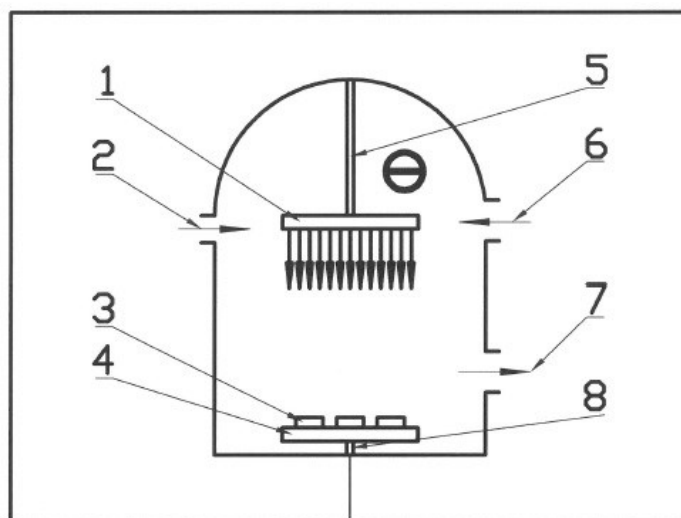


Obrázek 1 - Princip Vakuového napařování; 1 - držák napařovaných předmětů, 2 - přívod inertního plynu, 3 - zdroj vypařovaného kovu, 4 - napařované předměty, 5 - vakuové čerpadlo, 6 – výparník [1]

Princip vakuového napařování je založen na ohřevu materiálu ve vakuu, kde se odpařuje a kondenzace jeho par se aplikuje na substrát. Tvorba vrstvy je závislá na tom jak rychle se materiál odpařuje, tím pádem na tom jakou teplotou je materiál ohříván. Přivedeme-li do vakuové komory reaktivní plyn, jedná se o napařování reaktivní, kde atomy reaktivního plynu reagují s atomy kovu, tím vzniká chemická sloučenina, která se usadí na povlakovaném povrchu. [1,3]

Aby nedošlo k reakci mezi odpařovanou látkou a zbytky vzduchu, se vrstvy napařují za tlaku nižším než 10^{-2} Pa. Kovové částice, které dopadají na povrch substrátu mají energii okolo 0,1 – 0,3 eV. [1,3]

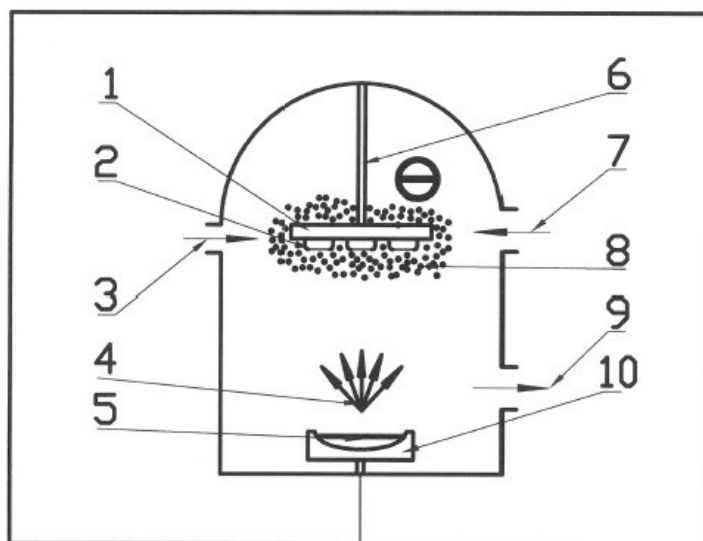
3.2 Vakuové naprašování



Obrázek 2 - Princip vakuového naprašování; 1 - zdroj rozprašovaného materiálu, 2 - přívod inertního plynu, 3 - naprašované předměty, 4 - držák předmětů, 5 – katoda, 6 - přívod reakčního plynu, 7 - vakuové čerpadlo, 8 – anoda [1]

Vakuové naprašování funguje tak, že se do vakuové komory, ve které je udržován tlak mezi 10^{-2} až 1 Pa přivede inertní plyn (př. Argon), který se ionizuje v doutnavém výboji. Pozitivní ionty pak bombardují kovovou katodu, která se začne rozprašovat a usadí se na povrchu povlakovaného předmětu. Do komory se stejně jako u napařování dá přivést reaktivní plyn. Touto metodou dopadají kovové částice na povrch předmětu s energií 5 – 10 eV. [1,3]

3.3 Iontové plátování



Obrázek 3 - Princip iontového plátování; 1 - držák povlakovaných předmětů, 2 - povlakované předměty, 3 - přívod inertního plynu, 4 - vypařovaný materiál, 5 - zdroj vypařovaného materiálu, 6 – katoda, 7 - přívod reakčního plynu, 8 – plazma, 9 - vakuové čerpadlo, 10 – výparník [1]

Do vakuové komory se přivede nosný plyn, který na katodě vytvoří doutnavý výboj, kde se odpařovaný kov částečně ionizuje. Po přiložení 5 kV záporného napětí na povlakovaný předmět dojde k další ionizaci atomů plynů a zvýší se kinetická energie iontů kovů dopadajících na substrát za současného vzniku určité chemické sloučeniny. Energie kovových částic, které dopadají na povrch, dosahuje hodnot 100 – 300 eV. Velkou výhodou této metody je rovnoměrná tloušťka a přilnavost povlaku k substrátu a také jeho vysoká rychlost růstu. [1,3]

4 Využití PVD povlaků

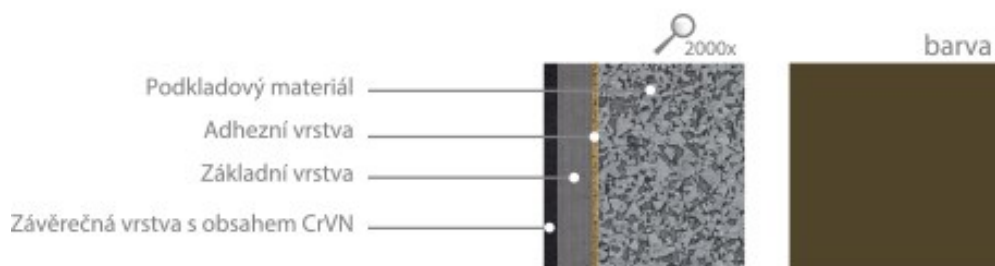
Pro vypracování bakalářské práce jsem spolupracoval s firmou SHM Šumperk, která se zabývá PVD povlakováním už od roku 1993. K povlakování využívá své vlastní patentované technologie především v odvětví odpařování pomocí nízkonapětového oblouku a magnetonovém naprašování. [4]

V bakalářské práci jsme pro pozorování odlévání hliníku na různých površích využili dva typy PVD povlaků od této firmy a to Vanadin a Marwin G. Firma ale také používá mnoho dalších povlaků, které mají mnoho různých využití.

Mezi nejpoužívanější povlaky patří:

- **Vanadin**

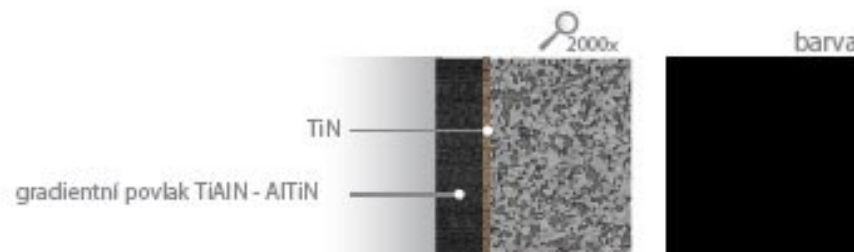
- Složení: CrAlVN + CrVN
- Tvrdost: 32
- Je to povlak převážně určený pro podkladový materiál jako je nástrojová ocel HSS.
- Obsahuje ve své závěrečné vrstvě Vanad a tím zajišťuje unikátní vysokoteplotní kluznou vrstvu.
- Povlak výrazně potlačuje nalepování materiálu a zvyšuje životnost nástroje.
- Doporučená aplikace povlaku je tlakové lití hliníku. [4]



Obrázek 4 - Struktura povlaku Vanadin [4]

- **Marwin G**

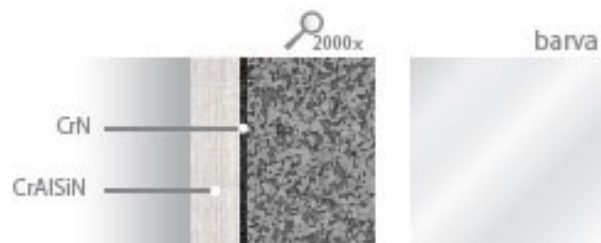
- Složení: TiAlN
- Tvrdost: 42
- Tepelná odolnost: $> 900^{\circ}\text{C}$
- Povlak je určen pro podkladový materiál typu HM a HSS.
- Aplikuje se na materiál, který potřebuje velikou oxidační odolnost a také poskytuje odolnost vůči nalepování materiálu na nástroj.
- Mezi doporučené aplikace patří frézování, vtrání, tváření, stříhání a tlakové lití hliníku. [4]



Obrázek 5 - Struktura povlaku Marwin G [4]

- **Alwin**

- Složení: CrAlSiN
- Tvrdost: 35
- Tepelná odolnost: $> 1000^{\circ}\text{C}$
- Aplikuje se na materiály kde je zapotřebí vysoké odolnosti proti oxidaci, ale také pro získání odolnosti vůči nalepování obráběných materiálů na nástroj.
- Mezi možná využití se řadí vrtání, frézování, tváření, stříhání a tlakové lití hliníku. [4]



Obrázek 6 - Struktura povlaku Alwin [4]

5 Tlakové odlévání

Tlakové odlévání je proces odlévání kovů, ve kterém je roztavený kov vtlačen pod vysokým tlakem do formy (tlak může být až 100 MPa). Díky této technologii můžeme vytvářet odlitky velice náročných tvarů. Vysoký tlak taveniny při odlévání dokonale vyplní objem odlévací formy, proto lze tuto technologii využít i pro tvarově složité odlitky. Formy, které se používají pro dlouhodobé odlévání stejných výrobků, nazýváme trvalé. Jsou vyráběny především z vysoce legovaných ocelí Cr-Mo z důvodu jejich mimořádných mechanických a tepelných vlastností. Maximální velikost odlitku se odvíjí od hmotnosti odlévacího stroje a jeho uzavírací síle. Uzavírací síla je síla, která působí na obě poloviny formy. [5,6]

Mezi technologie lití hliníku patří:

- **Gravitační lití**
 - Pískové formy
 - Kovové formy
 - Keramické formy
- **Nízkotlaké lití**
 - Pískové formy
 - Kovové formy
 - Keramické formy
- **Vysokotlaké lití**
 - Stroje s teplou licí komorou
 - Stroje se studenou licí komorou

Správnou volbu technologie volíme s ohledem na konstrukci odlitku, na jeho tvar, rozměry a hmotnost. Dále musíme dbát na to, jaké užitečné vlastnosti má daný odlitek mít. Také záleží na počtu vyráběných kusů, jestli se jedná o sériovou výrobu, nebo jen o jednorázový proces. [7]

5.1 Hliník

Je to velmi lehký a měkký kov bělavě šedé barvy. Má nízkou hustotu a hmotnost. V periodické tabulce prvků je značen Al, dle latinského názvu aluminium. Vzhledem k jeho dobré elektrické vodivosti se spolu s mědí často používá v elektrotechnice. Vzhledem k velké reaktivitě hliníku se v přírodě skoro vždy setkáme pouze s jeho sloučeninami. Hliník je také nejčastěji používaným kovem pro tlakové odlévání. Teplota tání čistého hliníku je 660 °C. [8]

6 Cíle bakalářské práce

Cílem bakalářské práce je prostudovat problematiku PVD povlaků. Popsat povrchové úpravy, které se před aplikací PVD povlaků provádí a popsat využití PVD povlaků. Za tímto účelem byl proveden experiment, ve kterém se na 15 různě povrchově upravených zkušebních vzorků nanasly dva typy PVD povlaků. Na tyto vzorky byl poté odlit hliník a pomocí zkoušky přilnavosti byla zjištěna síla nutná k odtržení hliníku od zkušebního vzorku. Výsledné zjištění bylo vyhodnoceno a byl vybrán vhodný PVD povlak pro tlakové odlévání hliníku.

7 Metodika experimentálních prací

- Odmaštění kontrolních vzorků
- Suché a mokré otryskání vzorků
- Zjištění drsnosti na površích vzorků
- Pozorování změn povrchů vzorků po otryskání pomocí elektronového mikroskopu
- Nanesení PVD povlaků
- Odlévání hliníku na vzorky
- Zkouška přilnavosti
- Vyhodnocení

8 Popis a výsledky experimentálních prací

Pro účely praktické části bylo vybráno 15 kusů kontrolních vzorků z oceli 19 830 o průměru 15 mm, kdy každý vzorek byl odlišně povrchově upraven a na některé byly nanесeny již zmíněné povlaky Vanadin a Marwin G. Na vzorcích byla následně zjištěna drsnost jejich povrchů pro výsledné porovnání jednotlivých povrchů. Následně byl na tyto vzorky odlit hliník. Vhodný typ PVD povlaku pro odlévání hliníku byl určen pomocí odtrhovací zkoušky.

8.1 Příprava

Celý postup přípravy experimentálních vzorků je detailně popsán v následujících bodech. Označení vzorků a detaily úprav jsou vysvětleny v tabulce č. 1.

Tabulka 1 - Označení vzorků

PVD povlaky Příprava povrchu	Bez povlaku	Povlak Marwin G	Povlak Vanadin
Odmaštění	1A	1B	1C
Suché otrysk.- 5 bar MESH 220	2A	2B	2C
Suché otrysk. - 1 bar MESH 220	3A	3B	3C
Mokrý otrysk. - 4 bar MESH 320	4A	4B	4C
Mokrý otrysk. - 2 bar MESH 500	5A	5B	5C

Pro přehlednost byly vzorky označeny popisky. Aby se popisky vzorků neztratily např. při odmašťování, nebo otryskávání, byla použita elektrická vyjiskřovačka pro značení kovových povrchů. Pomocí wolframové elektrody byly do vzorků vyjiskřeny popisky dle tabulky č. 1.



Obrázek 7 - Popisování vzorků vyjiskřovačkou

8.2 Povrchová úprava vzorků

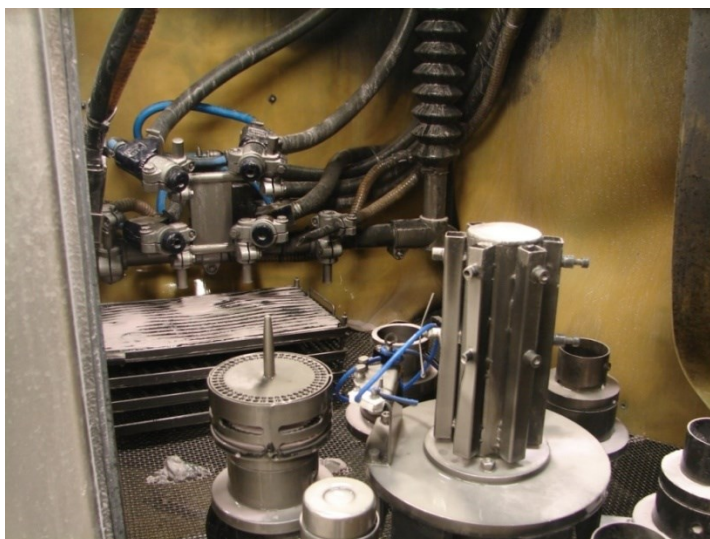
První povrchová úprava, kterou kontrolní vzorky prošly, bylo odmaštění. Kde jsme se snažili o zamezení výskytu tuků a jiných nečistot na površích vzorků, které by mohli způsobit nedokonalé přilnutí povlaku k povrchu. Následovalo otryskávání. Část vzorků byla otryskaná takzvaným mokrým a část suchým otryskáváním. Detailní postup těchto dvou operací je popsán dále.

8.2.1 Mokré pískování

Mokré pískování probíhalo na stroji Standard Manual od firmy GRAF cleaning systems.



Obrázek 8 - Pískovací stroj Standard Manual



Obrázek 9 - Vnitřní pohled na stroj

Jde o proces, kde je jímka stroje naplněna přibližně 40 – 60 kg směsí vody a abrazivních částic (v našem případě se jedná o bílý korund Al_2O_3), která je poté přenášena díky vysoce odolné pumpě do pískovacích pistolí. Většinou je při nanášení také aplikován stlačený vzduch z důvodů správného nanesení abraziva. Obsluha stroje pracuje tak, že vloží ruce do otvorů s nainstalovanými rukavicemi z velice opotřebené odolné gumy, kde pomocí tryskacích pistolí povrch vzorku opracuje. Otryskaný vzorek je pak očištěn vodou. [10]



Obrázek 10 - Nanášení abraziva na vzorek [9]

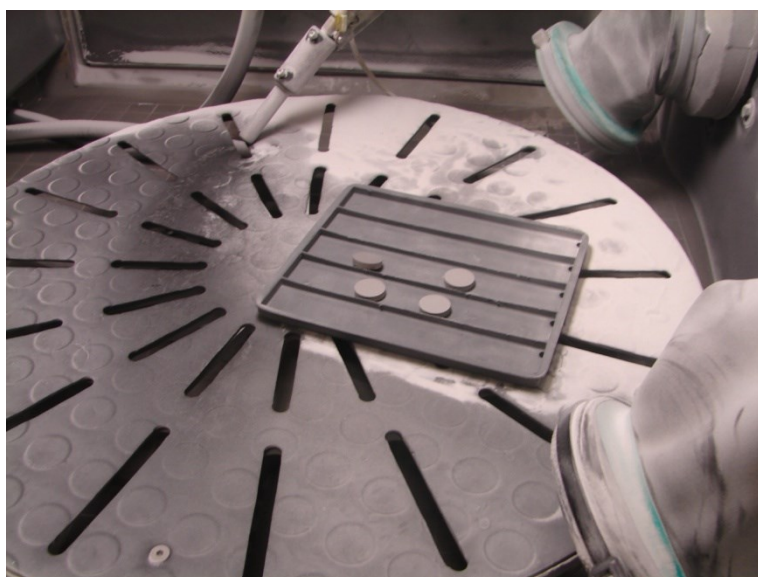
8.2.2 Suché pískování

Suché pískování probíhalo stejným způsobem, jediný rozdíl mezi touto metodou a mokrým pískováním je ten, že zde se do abrazivních částic nepřidávala voda.



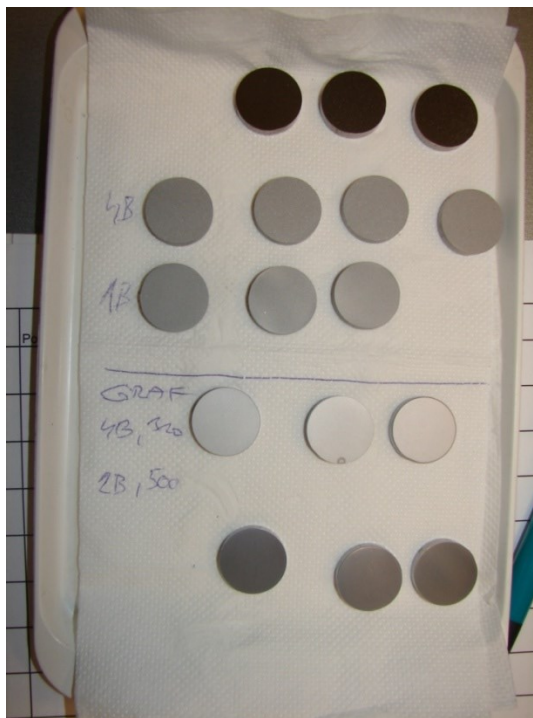
Obrázek 11 - Stroj na suché pískování

Na vzorky byl nanesen bílý korund Al_2O_3 . Pro zajištění důkladného očištění od abrazivních částic byly všechny vzorky ofoukány stlačeným vzduchem skrze tlakovou pistoli.



Obrázek 12 - Vnitřek stroje po otryskání vzorků

Na následujícím obrázku č. 17 lze pozorovat značné změny na povrchu kontrolních vzorků po aplikaci uvedených povrchových úprav. Je vidět že se změnila struktura jednotlivých povrchů, jejich matnost i barva.



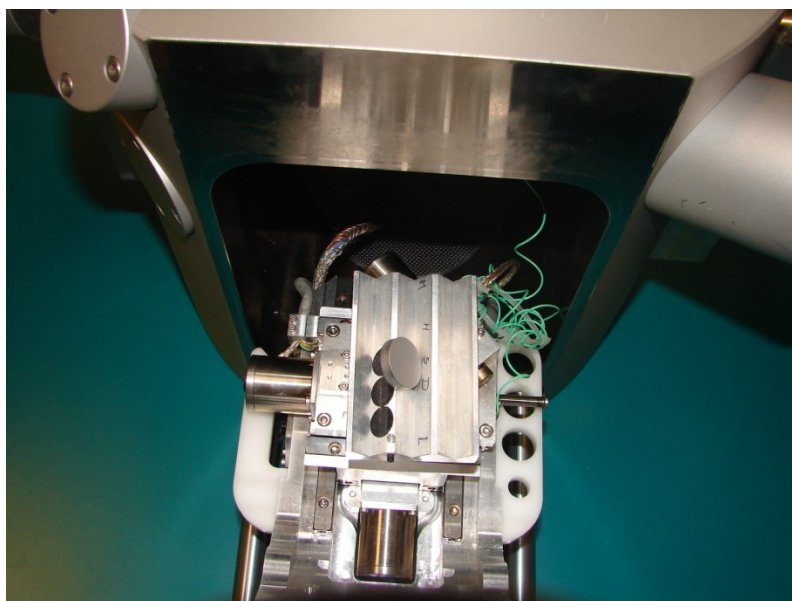
Obrázek 13 – Rozdíly v povrchu vzorků

8.3 Měření povrchu vzorků

Měření povrchů se provádělo po upravení kontrolních vzorků. Bylo zapotřebí zjistit, v čem se změnila struktura jednotlivých povrchů. Proto jsme využily dvou metod měření. Nejdříve jsme jeden kontrolní vzorek pozorovali na elektronovém rastrovacím mikroskopu metodou pozorování sekundárních elektronů a poté metodou pozorování zpětně odražených elektronů. Poté jsme na každém povrchově upravené vzorku bez povlaku zjistili pomocí 3D optického měření jejich drsnosti povrchu.

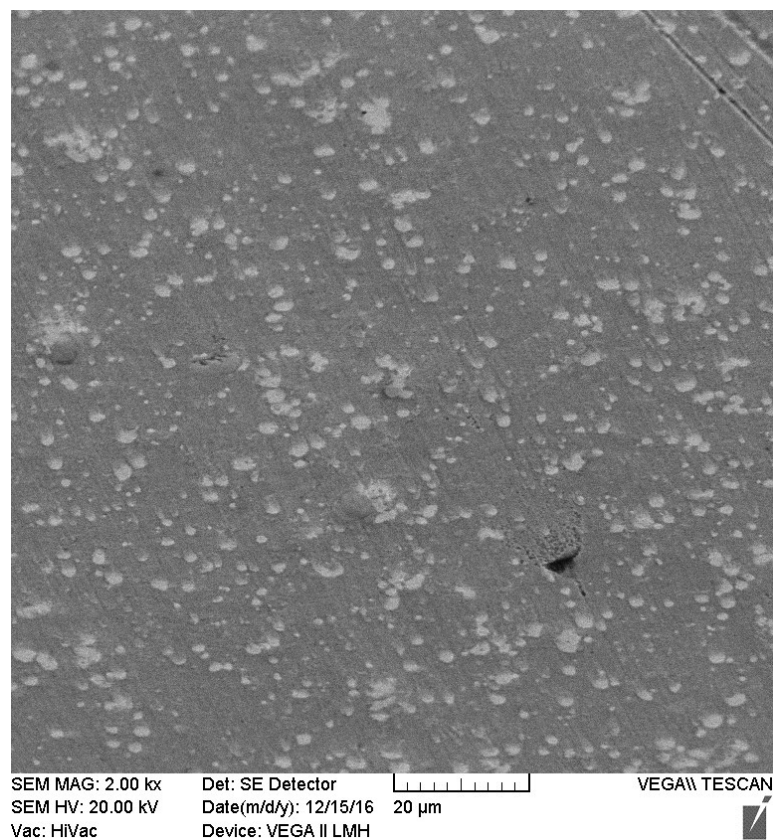
8.3.1 Pozorování povrchu

Pracovalo se na elektronovém rastrovacím mikroskopu Tesca Vega II LMH. Tento mikroskop funguje tak, že zobrazuje pohyb elektronů. Uvnitř má kameru takzvané rybí oko, která vše zobrazuje na monitoru. Umí také opticky otočit zobrazovaný obrázek. Tím myslíme, že můžeme sledovat povrch vzorku z několika úhlů, aniž bychom pohnuli se vzorkem samotným. Princip je takový, že se daný vzorek vloží do mikroskopu, kde je vakuum a kovový vzorek se nabíjí. Urychlovač napětí byl v našem případě 10 kW. V komoře mikroskopu je pak wolframové vlákno, které imituje elektrony.

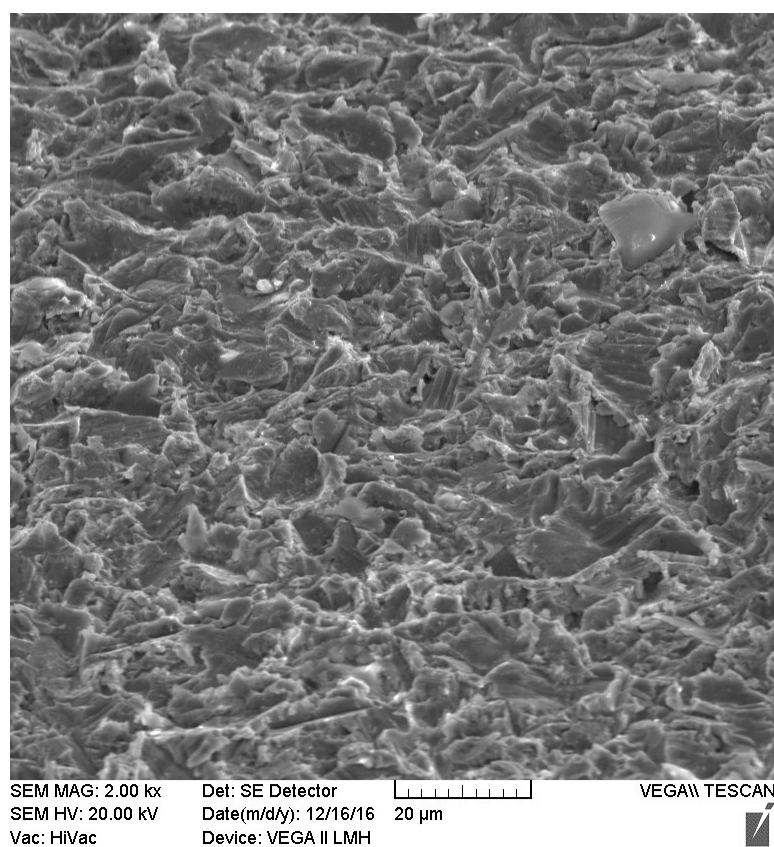


Obrázek 14 - Vzorek před vložením do SEM mikroskopu

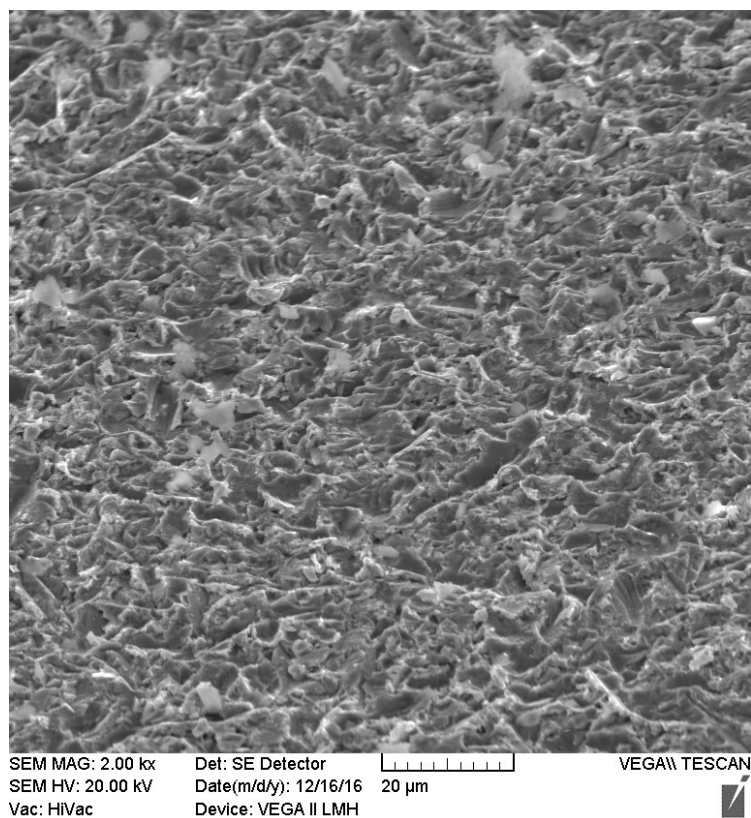
Použili jsme dva typy pozorování elektronů a to detekci sekundárních elektronů a detekci zpětně odražených elektronů. Na následujících obrázcích lze pozorovat změny v povrchu vzorků po provedení povrchových úprav. Pro detail bylo zvoleno zvětšení 2000x.



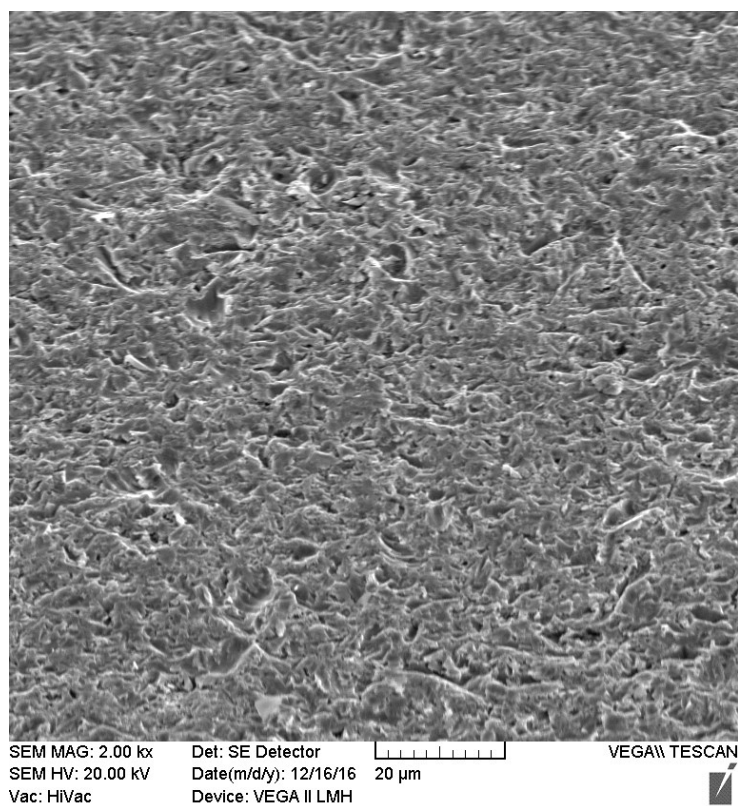
Obrázek 15 - Detekce SE na povrchově neupraveném vzorku 1A



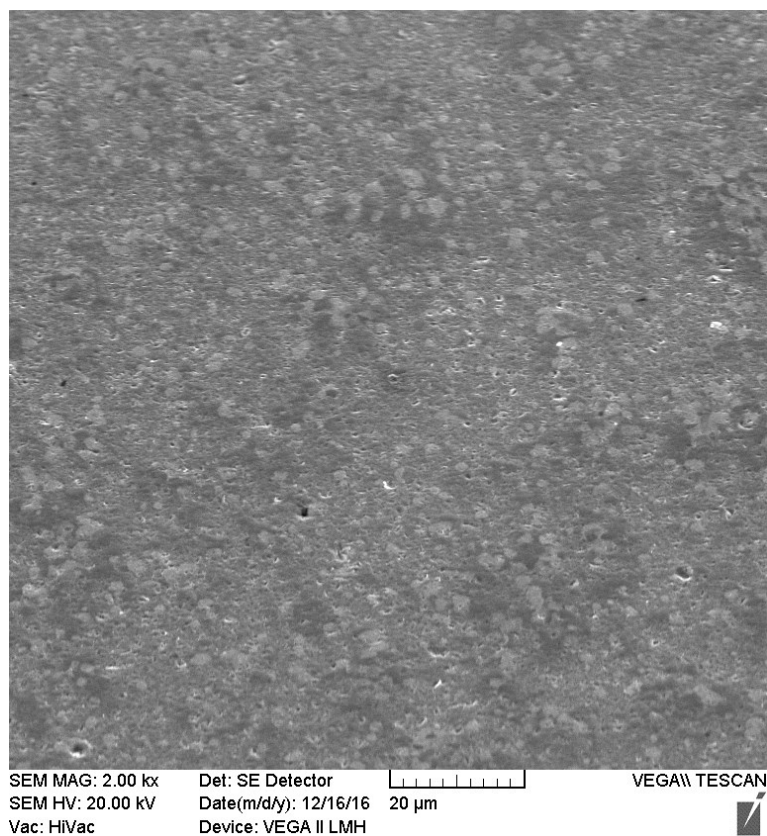
Obrázek 16 - Detekce SE na vzorku 2A po suchém otryskání 5 bary MESH 220



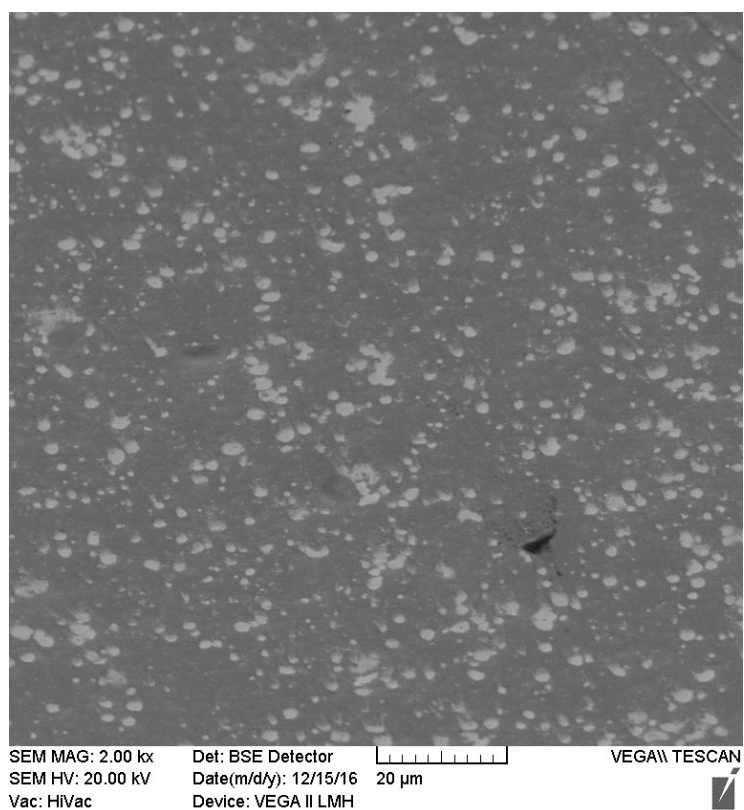
Obrázek 17 - Detekce SE na vzorku 3A po suchém otryskání 1 barem MESH 220



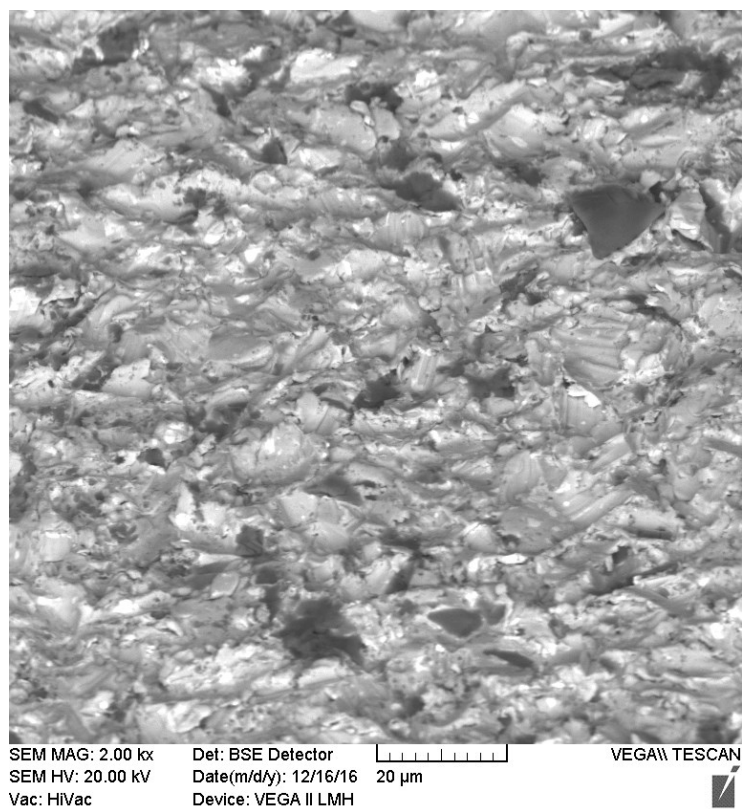
Obrázek 18 - Detekce SE na vzorku 4A po mokrém otryskání 4 bary MESH 320



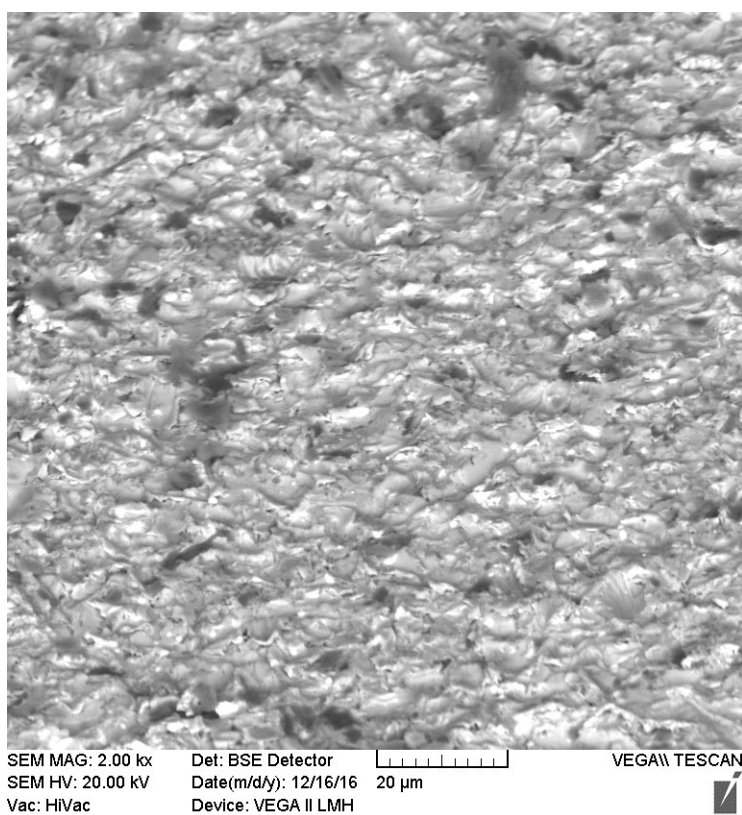
Obrázek 19 - Detekce SE na vzorku 5A po mokrém otryskání 2 bary MESH 500



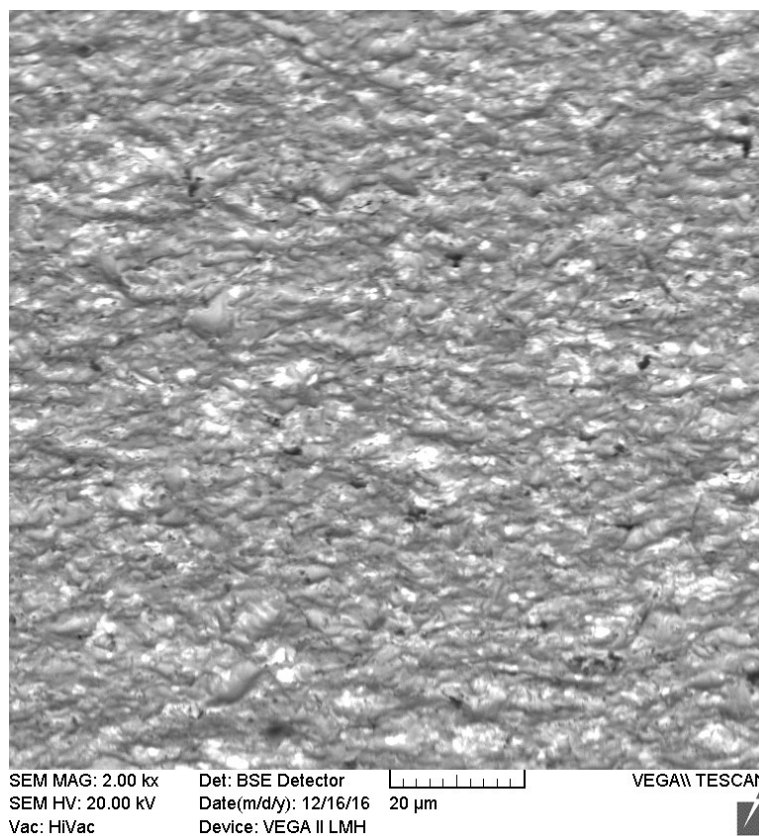
Obrázek 20 - Detekce BSE na povrchově neupraveném vzorku 1A



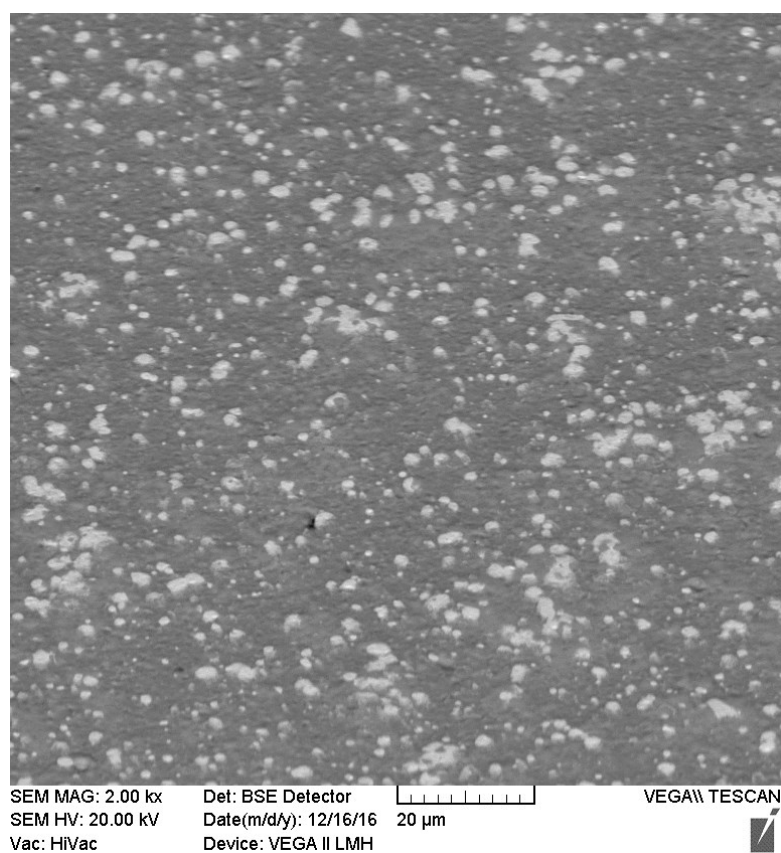
Obrázek 21 - Detekce BSE na vzorku 2A po suchém otryskání 5 bary MESH 220



Obrázek 22 - Detekce BSE na vzorku 3A po suchém otryskání 1 barem MESH 220



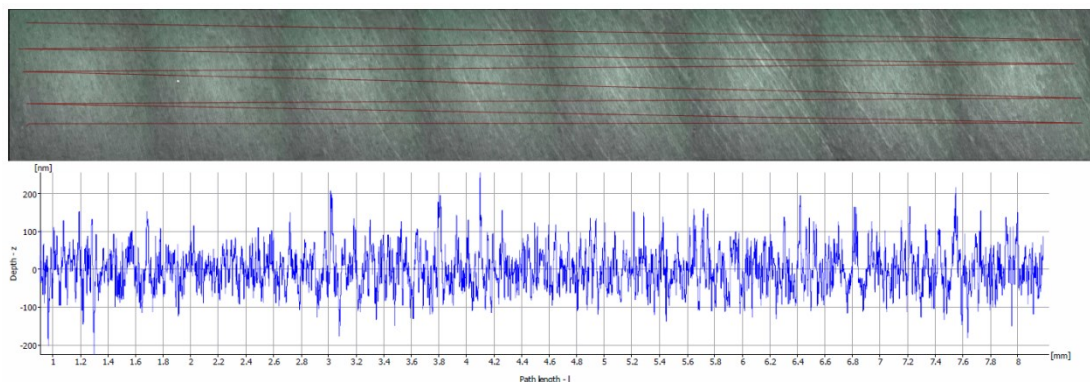
Obrázek 23 - Detekce BSE na vzorku 4A po mokrém otryskání 4 bary MESH 320



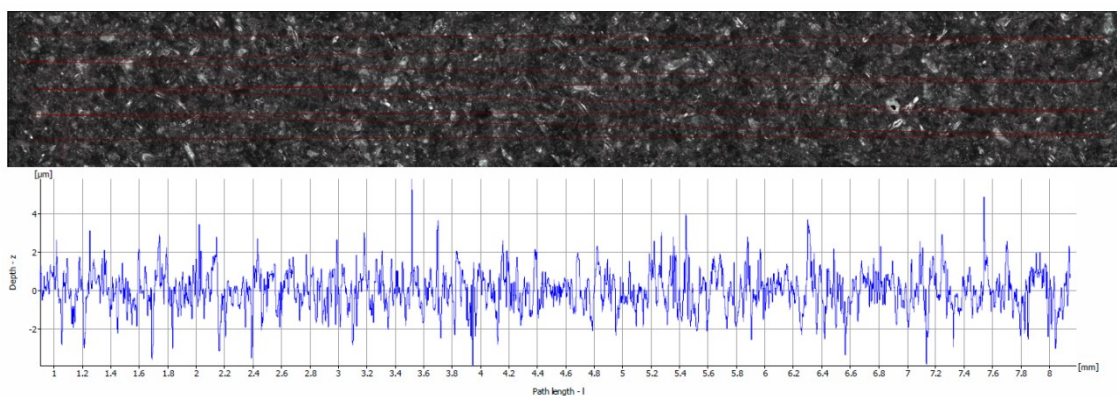
Obrázek 24 - Detekce BSE na vzorku 5A po mokrém otryskání 2 bary MESH 500

8.3.2 Měření drsnosti povrchu

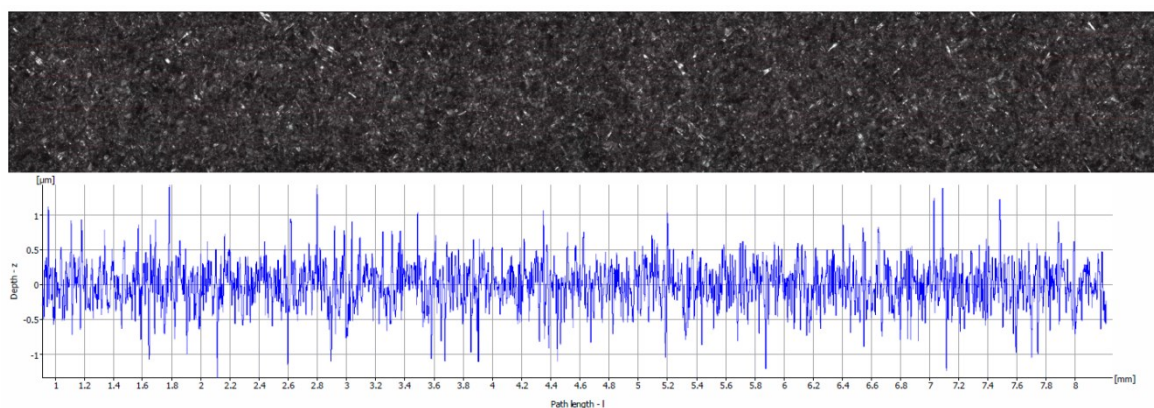
Měření bylo provedeno na konfokálním mikroskopu Alicona InfiniteFocus. Kde byly vzorky vloženy pod mikroskop se zvětšením 100x a rozsahem měření 1x1 mm. Následující grafy zobrazují zjištěnou drsnost Ra a Rz pro všechny vzorky po aplikaci povrchových úprav.



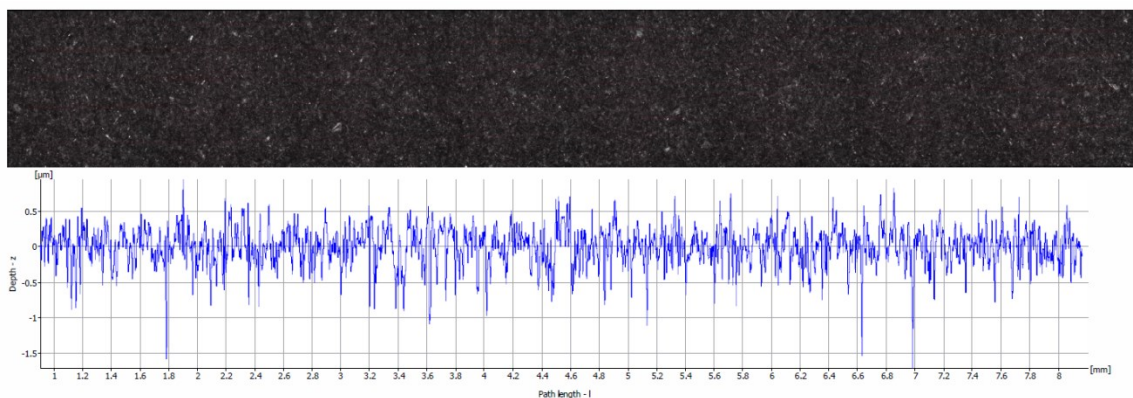
Graf 1 - Drsnost povrchu vzorku 1A bez povrchové úpravy



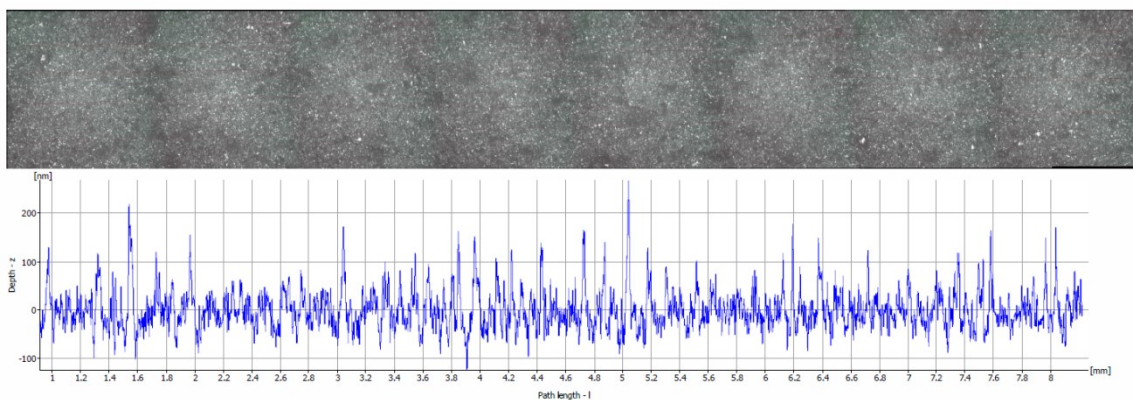
Graf 2 - Drsnost povrchu vzorku 2A suché otryskávání 5 bary



Graf 3 - Drsnost povrchu vzorku 3A suché otryskávání 1 barem



Graf 4 - Drsnost povrchu vzorku 4A mokré otryskávání 4 bary



Graf 5 - Drsnost povrchu vzorku 5A mokré otryskávání 2 bary

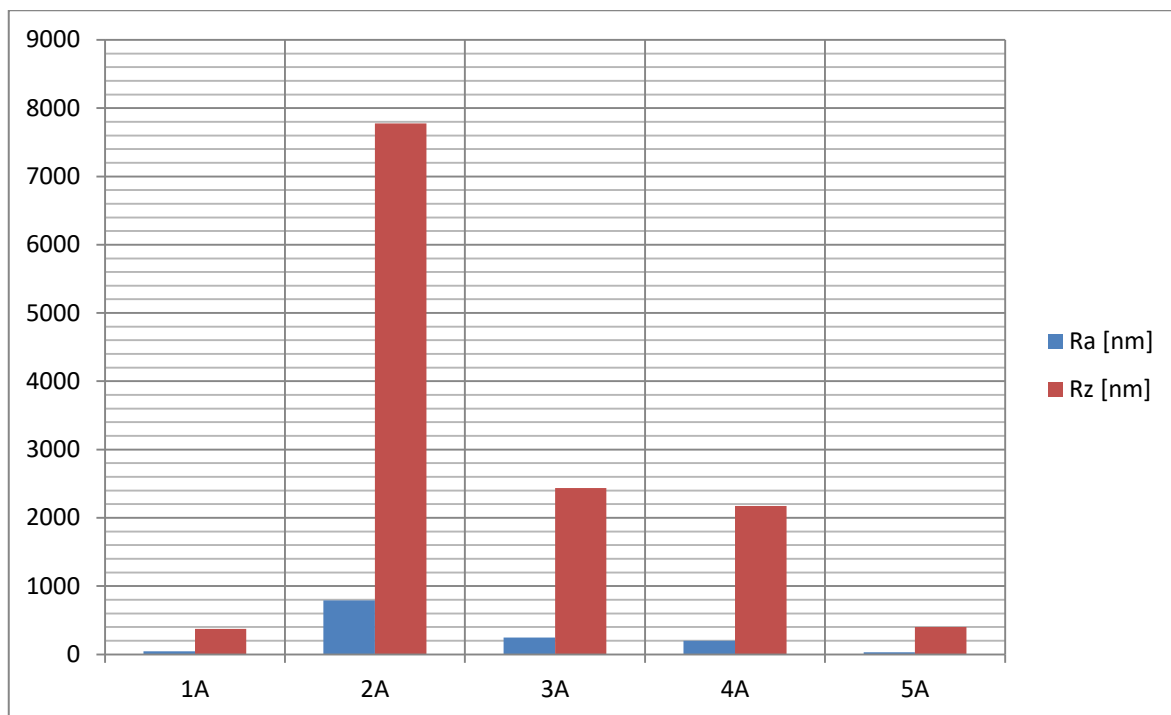
Tabulka 2 - Výsledky měření drsnosti povrchu pro vzorky 1A – 5A

Vzorek č.	Povrchová úprava	Ra [nm]	Rz [nm]
1A	Odmaštění	43,13	374,78
2A	Suché otrysk. - 5 bar MESH 220	788,55	7 778
3A	Suché otrysk. - 1 bar MESH 220	244,38	2 437
4A	Mokré otrysk. - 4 bar MESH 320	197,87	2 172
5A	Mokré otrysk. - 2 bar MESH 500	30,24	299,04

Ra – Průměrná drsnost povrchu kontrolního vzorku

Rz - Průměrná vrcholová hodnota nejnižší a nejvyšší drsnosti povrchu kontrolního vzorku

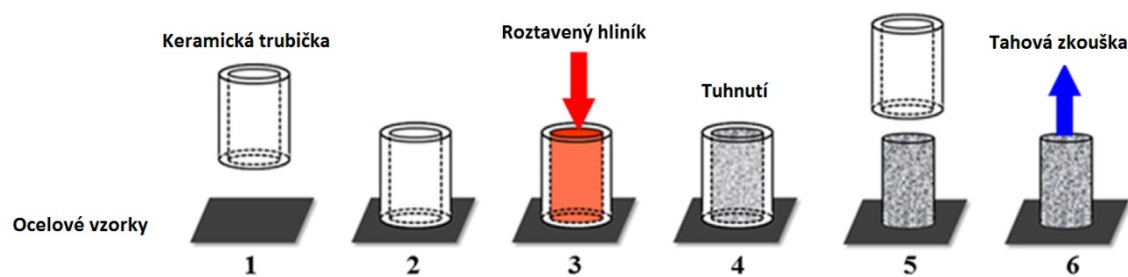
Z tabulky č. 2 vyplývá, že vzorek 5A má nejmenší drsnost povrchu a vzorek 2A má naopak největší drsnost povrchu.



Graf 6 - Vyhodnocení Ra a Rz dle tabulky č. 2

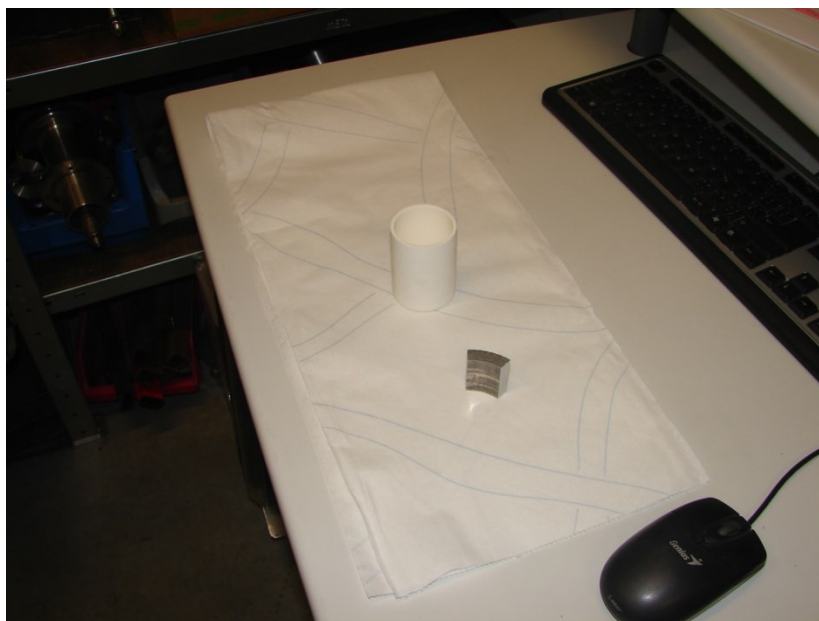
8.4 Odlévání hliníku na vzorky

Technologický postup odlévání



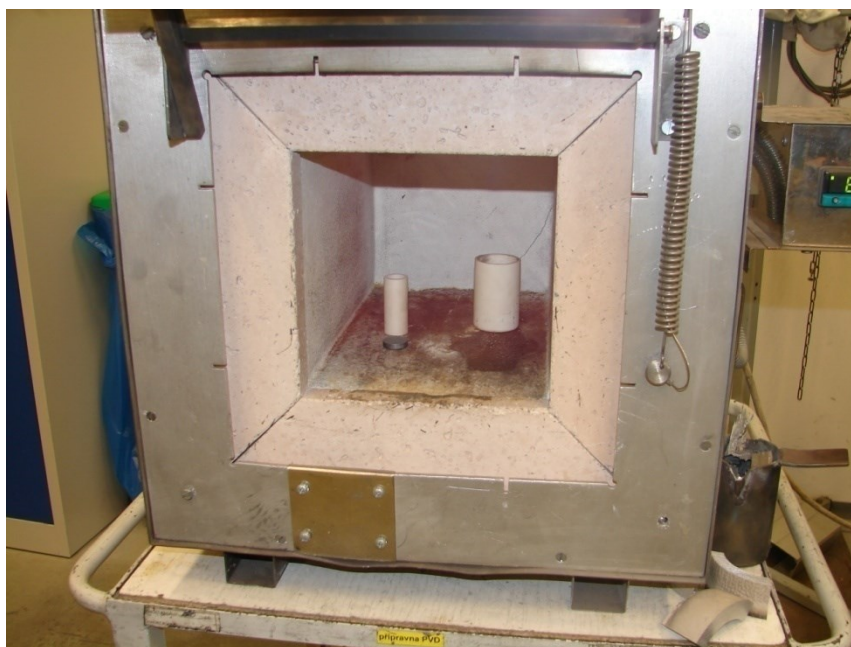
Obrázek 25 - Postup odlévání hliníku [10]

1. 23 gramů hliníku se vložilo do nálevky (kelímku).



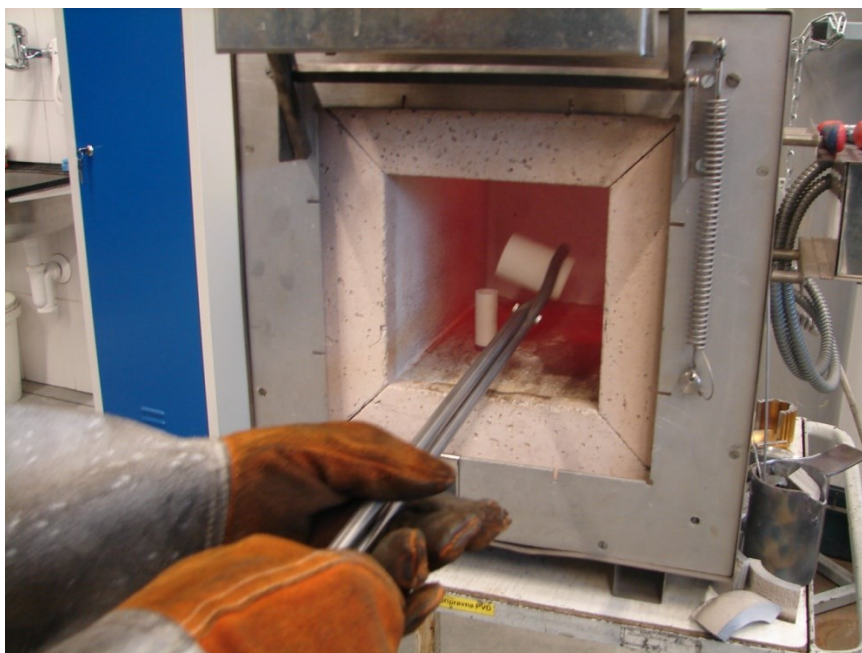
Obrázek 26 - Keramická nádoba pro odlití hliníku

2. Kelímek byl i s trubičkou vložen do studené pece, která se nastavila na 700°C.
Po dosažení požadované teploty jsme hliník nechali 1 hodinu tavit v peci.



Obrázek 27 - Všechny pomůcky vložené do pece

3. Na kontrolní vzorek byla přiložena nahřátá odlévací trubička, do které byl uvnitř pece pomocí kleští vlit roztavený hliník. Po odlití se pec ještě 15 minut nechala zapnutá při stálé teplotě 700°C.



Obrázek 28 - Odlévání hliníku na kontrolní vzorek

4. Po 15 minutách jsme pec vypnuli a otevřenou jsme ji nechali chladnout na pokojovou teplotu.
5. Po odejmutí odlévací trubičky jsme získali odlitek hliníku na kontrolním vzorku.



Obrázek 29 - Hotové odlitky

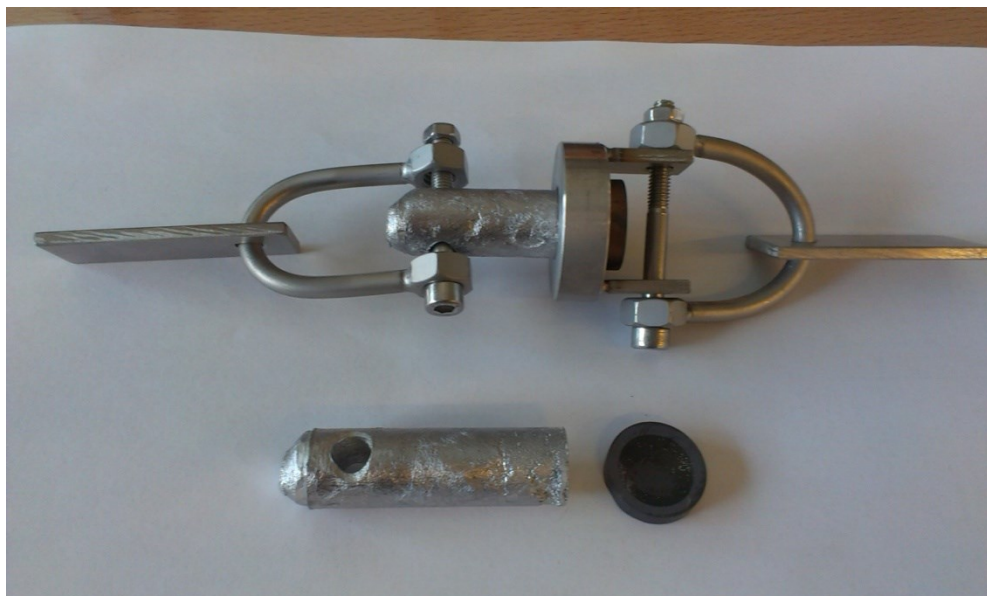
8.5 Zkouška přilnavosti

Zkouška přilnavosti byla provedena za pomoci tahové zkoušky na stroji ZWICK Z50. Díky tomu byla zjištěna potřebná síla k odtržení hliníku od povrchu kontrolních vzorků. Čím menší potřebná síla, tím vhodnější je daný vzorek pro odlévání hliníku.

Elektromechanický zkušební stroj ZWICK Z50 má tyto parametry

- Silová kapacita stroje je až 50 kN
- Mechanické čelisti umožňují upnout jak kulaté tak i ploché tyče
- Rozpětí pro uchycení válečků od 10 do 40 mm. [11]

Pro měření bylo nutné upravit zkušební vzorky tak aby byli vhodné pro tahovou zkoušku (viz obrázek č. 30).



Obrázek 30 - Odlitek připravený pro tahovou zkoušku

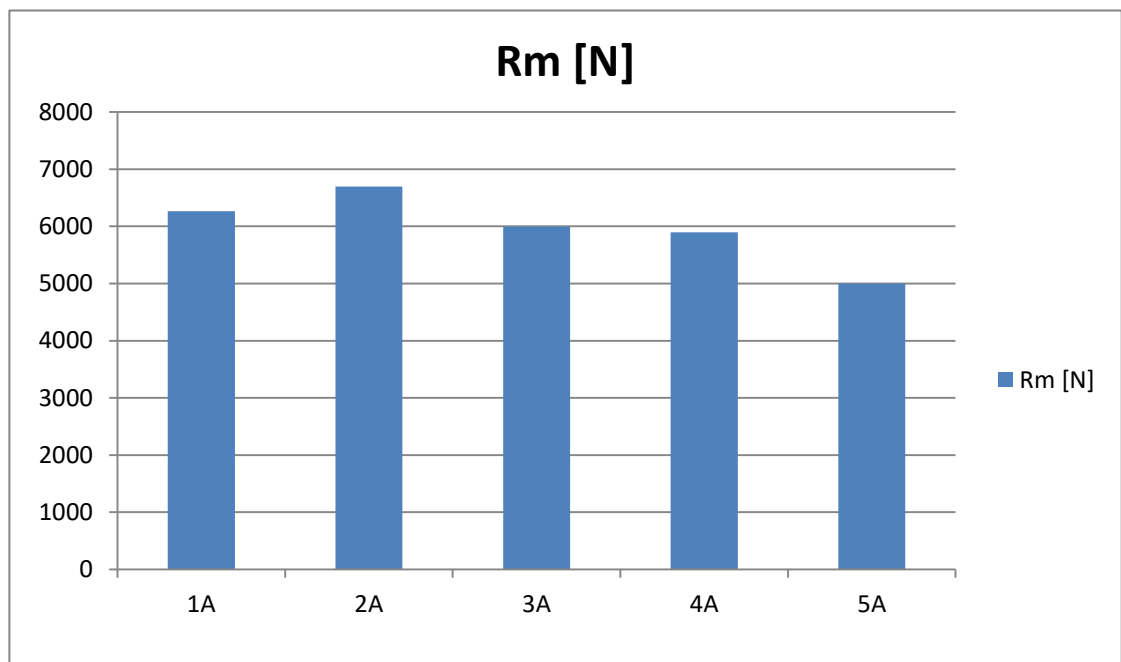
Následně byla provedena zkouška, jejímž výsledkem byly údaje o maximální síle potřebné k odtržení hliníku od zkušebních vzorků. Výsledky měření jsou uvedeny v tabulce č. 3.



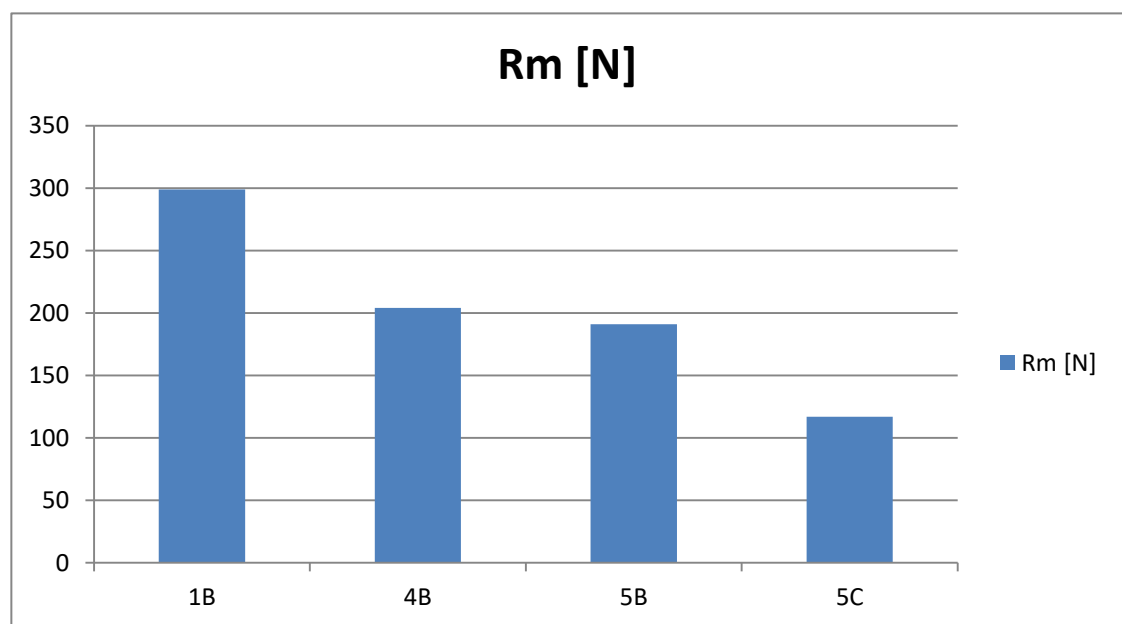
Obrázek 31 - Proces zkoušky přilnavosti

Tabulka 3 - Výsledky zkoušky přilnavosti

Označení vzorku	do [mm]	Rm [N]
1A - odmaštěno	15	6264,17
2A – suché otrysk. 5 barů	15	6696,33
3A – suché otrysk. 1 bar	15	5999,62
4A – mokré otrysk. 4 bary	15	5894,63
5A – mokré otrysk. 2 bary	15	5000,41
1B – odmaštěno, povlak Marwin G	15	299,05
4B – mokré otrysk. 4 bary, Marwin G	15	204,71
5B – mokré otrysk. 2 bary, Marwin G	15	191,01
5C – mokré otrysk. 2 bary, Vanadin	15	117,05



Graf 7 - Výsledky zkoušky přilnavosti pro vzorky 1A - 5A



Graf 8 - Výsledky zkoušky přilnavosti pro vzorky 1B – 5C

Bohužel při přepravě zkušebních vzorků do Brna na zkoušku přilnavosti došlo k poškození některých vzorků a nemohli být pro zkoušku nadále použity. Přesto lze pozorovat, že zkušební vzorek 5C, tedy vzorek který byl odmaštěn, mokře otryskán silou 2 barů a poté napovlakován povlakem Vanadin má nejmenší mez pevnosti R_m . To znamená, že k odtržení hliníku od tohoto vzorku bylo zapotřebí nejmenší síly (117 N) a je tedy nejvhodnější pro odlévání hliníku.

9 Závěr

Teoretická část bakalářské práce obsahuje informace o předpovrchových úpravách, které byly použity v experimentální části práce. Dále se také zaměřuje na problematiku PVD povlakování, typy PVD povlaků a na odlévání hliníku.

V experimentální části bylo vybráno 15 zkušebních vzorků z ocele 19 830 o průměru 15 mm. Vzorky byly popsány vyjiskřením aby nedošlo ke ztrátě jejich označení při provádění povrchových úprav. Na těchto vzorcích pak bylo provedeno jejich odmaštění a část byla upravena suchým a část mokřým otryskáváním. Na pět takto upravených vzorků byl nanesen PVD povlak Marwin G a na dalších pět povlak Vanadin, pět zbývajících vzorků nebylo povlakováno.

Jakmile byly všechny zkušební vzorky kompletně povrchově upraveny, přešlo se k pozorování rozdílů ve struktuře jednotlivých vzorků. Díky elektronovému rastrovacímu mikroskopu práce obsahuje detailní zobrazení povrchu vzorků a to jak při detekci sekundárních elektronů, tak i za detekce zpětně odražených elektronů. Na stejných vzorcích bylo poté provedeno měření drsnosti Ra a Rz. Díky konfokálnímu mikroskopu práce obsahuje grafy s přiblížením 100x na 1x1 mm vzorku.

Na všechny vzorky byl odlit hliník. Aby se zjistilo, který povrch je nejvhodnější pro odlévání hliníku, bylo zapotřebí zjistit, na který vzore se hliník nalepil nejméně. Pro toto zjištění byla provedena zkouška přilnavosti, která zjistila potřebnou sílu k odtržení hliníku od povrchu vzorku. Díky této zkoušce bylo vyhodnoceno že PVD povlak Vanadin je pro účely odlévání hliníku nejvhodnější.

10 Seznam použitých zdrojů

- [1] PODJUKLOVÁ, Jitka. *Speciální technologie povrchových úprav I*. Dot. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, 1997. ISBN 80-7078-235-8.
- [2] MOHYLA, Miroslav. *Technologie povrchových úprav kovů*. 2. vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2000. ISBN 80-7078-953-0.
- [3] HUMÁR, Anton. *Materiály pro řezné nástroje*. Praha: MM Publishing, 2008. ISBN 978-80-254-2250-2.
- [4] SHM Šumperk [online]. Šumperk [cit. 2017-04-15]. Dostupné z: <http://www.shm-cz.cz>
- [5] RAVI, B.. *Metal Casting - Overview*. [s.l.] : IIT Bombay, 2004. S. <http://www.energymanagertraining.com/foundries/pdf/CDA1.pdf>
- [6] DEGARMO, E. Paul. *Materials and processes in manufacturing*. 9th ed., update ed. Hoboken, N.J.: Wiley, c2003. ISBN 0-471-65653-4.
- [7] HYNEK, Martin a kolektiv. *TLAKOVÉ LITÍ HLINÍKU: KA 01 - ODLITKY, VÝKOVKY* [online]. Západočeská univerzita v Plzni, 2014 [cit. 2017-04-11]. Dostupné z: http://kks.zcu.cz/export/sites/kks/projekty-ver-fin/OPVK_PU/KA_01_publikace/KA01-Tlakove-liti-hliniku.pdf
- [8] GREENWOOD, N. N. a Alan EARNSHAW. *Chemie prvků*. Praha: Informatorium, 1993. ISBN 80-85427-38-9.
- [9] GRAF Cleaning Systems: *Wet blast cleaning systems* [online]. 2017 [cit. 2017-04-20]. Dostupné z: <http://www.graf-technik.de/en/products/wet-blast-cleaning-systems/process>
- [10] *Journal of materials processing technology*. Amsterdam: Elsevier Science Publishers. ISSN 0924-0136.
- [11] Akademie věd české republiky: *Ústav fyziky materiálů* [online]. Brno, 2017 [cit. 2017-04-20]. Dostupné z: <http://www.ipm.cz/vybaveni-elektromechanicky-zkusebni-stroj-zwick-z50.html>

11 Seznam příloh

Příloha 1 – Protokol odtrhu vrstev 1A - 5A

Příloha 2 – Protokol odtrhu vrstev 1B - 5C

Test report

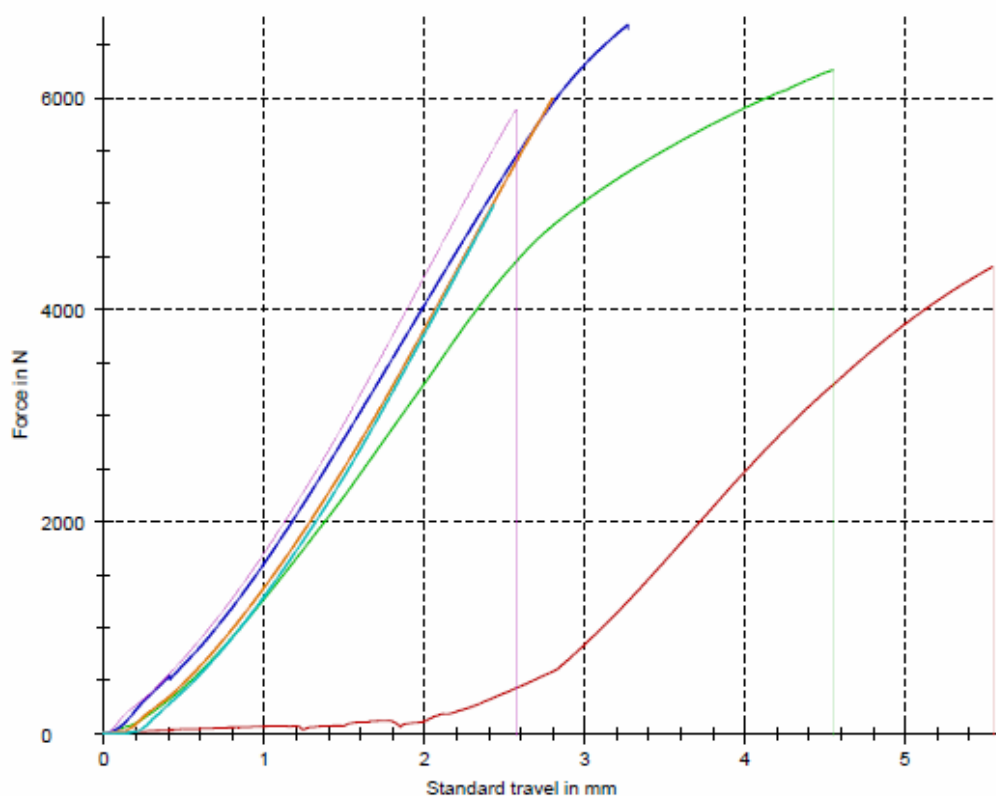
Heading : Test report
Customer : SHM
Material :
Test speed : 0,5 mm/min

Tester : Chlup, Cupera
Machine data : Controller/Crosshead SN: 714388]
Force Meter SN: 760158]

Test results:

Legend	vysocepevne No.	Specimen ID	d ₀ mm	S ₀ mm ²	R _m N	A _{gt} mm	R _B N	A _t mm
	1.1	test	15	176,71	4411,21	5,55	4411,2	5,5
	1.2	1A	15	176,71	6264,17	4,55	6051,8	4,6
	1.3	2A	15	176,71	6696,33	3,27	-	-
	1.4	3A	15	176,71	5999,62	2,80	-	-
	1.5	4A	15	176,71	5894,63	2,57	5892,2	2,6
	1.6	5A	15	176,71	5000,40	2,44	-	-

Series graph:



Test results:

Legend	nizkopevne No.	Specimen ID	d ₀ mm	S ₀ mm ²	R _m N	A _{gt} mm	R _B N	A _t mm
	2.1	1B	15	176,71	299,05	0,25	299,1	0,3
	2.2	4B	15	176,71	204,71	0,18	-	-
	2.3	5B	15	176,71	191,01	0,17	-	-
	2.4	5C	15	176,71	117,05	0,14	-	-

Series graph:

